

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК НАНОПОРОШКА ALN НА СВОЙСТВА ОБЪЕМНОГО  
КЕРАМИЧЕСКОГО ОБРАЗЦА ИЗ ПРОМЫШЛЕННОГО НИТРИДА АЛЮМИНИЯ**

М.И. Гуков, И.И. Шаненков, А.И. Циммерман

Научный руководитель: профессор, д.т.н. А.А. Сивков

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [lq1@t-sk.ru](mailto:lq1@t-sk.ru)

**INFLUENCE OF ALN NANOPOWDER ADDITIVES ON PROPERTIES OF BULK CERAMICS  
SAMPLE MADE OF INDUSTRIAL ALUMINUM NITRIDE**

M.I. Gukov, I.I. Shanenkov, Tsimmerman A.I.

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.A. Sivkov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [lq1@t-sk.ru](mailto:lq1@t-sk.ru)

**Abstract.** *In this paper, the influence of nanosized AlN additives on properties of ceramics sample, made of industrial aluminum nitride, was investigated. It was found, that only small amount (5 % mass) of aluminum nitride nanopowder, which was preliminary synthesized by plasmadynamic method, is enough to increase density, hardness and thermal conductivity of a resulting ceramics sample, based on industrial AlN.*

Поиск наиболее эффективного способа теплоотвода излишков энергии от силовых узлов агрегатов все еще является актуальной задачей высокомошной электроники [1]. На протяжении долгого периода времени керамика на основе оксида бериллия широко применялась при изготовлении подложек для мощных интегральных схем из-за высокой теплопроводности и небольшого коэффициента термического расширения [2]. Однако, его высокие токсичность и себестоимость требовали поиска альтернативного материала со схожими характеристиками. В результате интенсивных исследований было обнаружено, что таким материалом является нитрид алюминия, который помимо перечисленных плюсов имеет еще и высокую диэлектрическую проницаемость [3].

Известно, что для получения керамики на основе AlN используются различные модифицирующие добавки для повышения плотности, твердости и теплопроводности ( $Y_2O_3$ , CaO, MgO). Кроме того, известно, что даже пятипроцентная добавка нанопорошка может значительно улучшать свойства объемных материалов [4]. В данной статье рассматривается влияние добавки наноразмерного нитрида алюминия, полученного плазмодинамическим способом [5] в системе на основе коаксиального магнитоплазменного ускорителя, на характеристики керамики, спеченной с использованием промышленного порошка ТЧ-1. Установлено, что даже незначительная добавка (5 %) плазмодинамического нанопорошка AlN позволяет значительно улучшить свойства получаемых объемных материалов.

Для исследования влияния добавок на свойства получаемой керамики были получены опытные образцы на основе промышленного порошка нитрида алюминия ТЧ-1 (ИСМАН РАН, Черноголовка) и

этого же порошка, но с присадкой плазмодинамического AlN (5 % масс), методом искрового плазменного спекания. Подробное описание процесса плазмодинамического синтеза нанопорошка нитрида алюминия было опубликовано ранее [6]. Полученный порошок был исследован методом сканирующей электронной микроскопии (Magellan 400), по результатам которого была построена гистограмма распределения частиц по размерам. В качестве результирующих характеристик у керамических образцов анализировались плотность (методом Архимеда), твердость (микротвердомером Isoscan) и коэффициент теплопроводности (Discovery Flash DLF1)

На рис. 1а представлен SEM-снимок нанопорошка, полученного плазмодинамическим методом, который использовался в качестве модифицирующей добавки при спекании с промышленным порошком ТЧ-1. Как видно из снимка, частицы синтезированного нитрида алюминия имеют гексагональное строение и размерами не превышают 500 нм. Построенная по результатам серии таких снимков гистограмма распределения по размерам (рис. 1б) показывает, что большинство частиц имеет размер от 20 до 80 нм, что позволяет характеризовать получившийся продукт как наноразмерный с высокой степенью чистоты.

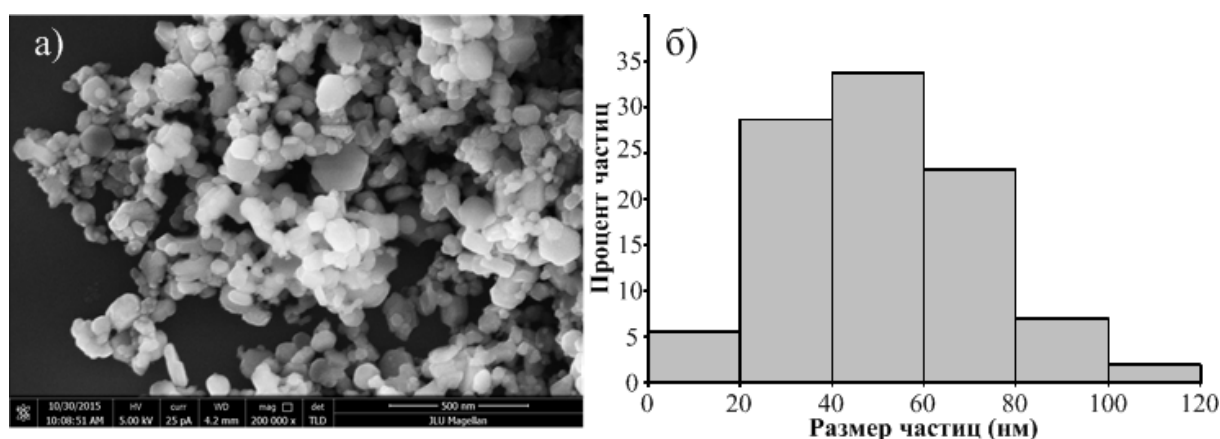


Рис. 1. а) SEM-снимок синтезированного нанопорошка; б) Гистограмма распределения частиц по размерам плазмодинамического порошка AlN

Для оценки влияния присутствия нанопорошка на свойства объемной керамики были получены 2 образца (со 100 %-ным содержанием ТЧ-1 и с 95 %-ным содержанием ТЧ-1 + 5 %-ной добавкой плазмодинамического AlN) методом искрового плазменного спекания в одинаковых условиях: скорость нагрева 500 °С/мин, максимальная температура – 1800 °С, выдержка при максимальной температуре – 10 минут и последующее естественное охлаждение. После шлифовки полученных образцов первоначально проводились измерения их плотности методом Архимеда. Установлено, что даже небольшая добавка нанопорошка позволяет значительно повысить плотность конечной керамики (на 6,8 %). Скорее всего, это вызвано тем, что более мелкая фракция заполняет свободное пространство между крупными микронными частицами промышленного порошка ТЧ-1, что в конечном итоге повышает плотность упаковки. Также значительно повышается твердость у керамики с добавкой нанодисперсного нитрида алюминия до 18,5 ГПа в сравнении с объемным образцом на основе чистого промышленного AlN (12 ГПа). Также стоит отметить увеличение теплопроводности керамики у образца с добавкой наноразмерного порошка. Пятипроцентная добавка наноразмерного AlN дает прирост коэффициента теплопроводности на 12 процентов относительно образца ТЧ-1 – 100 %.

Таким образом, полученные результаты позволяют судить о том, что даже пятипроцентная добавка наноразмерного плазмодинамического нитрида алюминия к промышленному порошку AlN ТЧ-1, используемому для спекания объемной керамики, позволяет значительно улучшить ряд физических характеристик, таких как плотность, твердость и коэффициент теплопроводности.

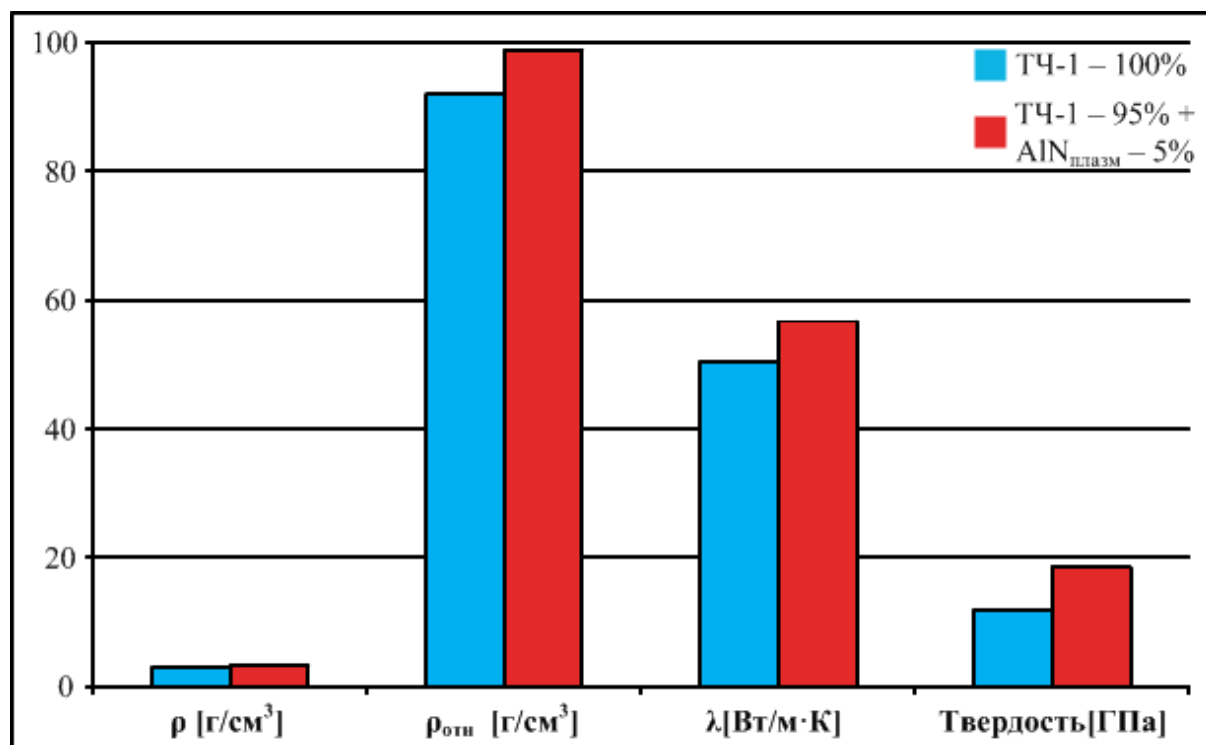


Рис. 2. Сравнительная диаграмма керамики ТЧ-1 – 100% и ТЧ-1 – 95% + AlN<sub>плазм</sub>

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Liu, X., Yu, J. (2016). Numerical study on performances of mini-channel heat sinks with non-uniform inlets. Journal of Applied Thermal Engineering, no. 93, pp. 856–864.
2. Wang, X., Wang, R., Peng, C., Li, T., Liu, B. (2010). Synthesis and sintering of beryllium oxide nanoparticles. Journal of Progress in Natural Science: Materials International, no. 20, pp. 81–86.
3. Sheppard, L.M. (1990). Aluminum nitride: a versatile but challenging material. Journal of American Ceramics Bulletin, no. 69(11), pp. 1801–1803.
4. Suetin D.V., Shein I.R., Ivanovskii A.L. Structural, electronic properties and stability of tungsten mono- and semi-carbides: A first principles investigation // Journal of Physics and Chemistry of Solids. – 2009. – V. 70. – № 1. – P. 64–71.
5. Пат. 137443 РФ. МПК7 H05H 11/00. Коаксиальный магнитоплазменный ускоритель / А.А Сивков, А.С. Сайгаш, Ю.Л. Колганова. Заявлено 24.09.2013; Оpubл. 10.02.2014, Бюл. № 4. – 6 с.
6. Гуков М. И., Шаненков И. И., Циммерман (Иванов) А. И. Плазмодинамический синтез нитрида алюминия // Энергетика, электромеханика и энергоэффективные технологии глазами молодежи: материалы III Российской молодежной научной школы-конференции. – Томск, 2015. – С. 32–35.